

Low voltage bender piezo-actuators

Patent number: DE69422916T
Publication date: 2000-10-05
Inventor: HILDEBRAND STEPHEN (US)
Applicant: NOISE CANCELLATION TECH (US)
Classification:
- international: H01L41/08; H01L41/09
- european: H01L41/09G
Application number: DE19946022916T 19940504
Priority number(s): US19930057944 19930507; WO1994US04553 19940504

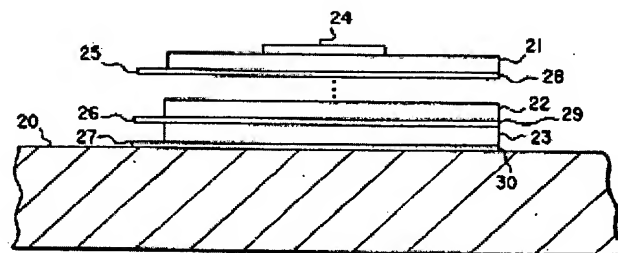
Also published as:

 WO9427331 (A1)
 US5473214 (A1)
 EP0698298 (A4)
 EP0698298 (B1)
 CA2161412 (C)

Report a data error here

Abstract not available for DE69422916T
Abstract of corresponding document: **US5473214**

A low voltage bender piezo-actuator with multiple, same size piezo layers (11, 12) separated by thin electrically conductive strips (14) and adapted to be affixed to a rigid, vibration transmitting plate (10) to produce noise counter vibrations to prevent noise from passing through the plate.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

97 EP 0 698 298 B 1

10 DE 694 22 916 T 2

51 Int. Cl. 7:
H 01 L 41/08
H 01 L 41/09

D5

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 694 22 916.4
96 PCT-Aktenzeichen: PCT/US94/04553
96 Europäisches Aktenzeichen: 94 914 908.2
87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 94/27331
86 PCT-Anmeldetag: 4. 5. 1994
87 Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: 24. 11. 1994
97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 28. 2. 1996
97 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 2. 2. 2000
47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 5. 10. 2000

- 30 Unionspriorität:
57944 07. 05. 1993 US
- 73 Patentinhaber:
Noise Cancellation Technologies, Inc., Lithicum,
Md., US
- 74 Vertreter:
Betten & Resch, 80469 München
- 84 Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, IT, SE

- 72 Erfinder:
HILDEBRAND, Stephen, Erie, US

64 PIEZOELEKTRISCHER NIEDERSpannungs-BIEGEANTRIEB

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 694 22 916 T 2

DE 694 22 916 T 2

94 914 908.2-2208

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine aktive Schwingungs-Steuervorrichtung mit einem piezoelektrischen Aktuator-Teilstück, das konfiguriert ist, um in einem Biegemode zu arbeiten, und das an eine Platte zum Auslösen von Schwingungen darin angebracht ist.

Ein Aufbau eines Gehäuses mit hohem Übertragungsverlust um eine Quelle mit verteiltem Rauschen ist ein Verfahren zum Reduzieren des Schalls, der von der Quelle abgestrahlt wird. Für diese Gehäuse ist dafür, daß sie bei niedrigen Frequenzen effektiv sind, aufgrund der erhöhten Größe, des Gewichts oder der Kosten passiver Verfahren, die effektiv gegenüber Frequenzen sind, oft eine aktive Steuerung einer streng passiven Einrichtung vorzuziehen.

Oft sind Rauschquellen durch ein "Gehäuse" umgeben, das der Schallquelle eigen ist. Ein Beispiel ist ein Leistungstransformator. In diesem Fall ist der Transformatorkern in einem mit Öl gefüllten Tank angeordnet. Der Transformatorkern veranlaßt, daß die Außenflächen des Tanks schwingen und akustische Energie abstrahlen. Somit sind die Außenflächen des Tanks die Schallquelle. Diese Tanks sind groß. Beispielsweise kann der Tank für einen kleinen Transformator (z.B. 7,5 MVA) etwa 2,44 m (8 ft.) breit, 1,22 m (4 ft.) tief und 3,05 m (10 ft.) lang sein. Einige große Transformatoren sind für einige hundert MVA bemaßt und sind um ein Vielfaches größer als jene Abmessungen. Eine aktive Steuerung von Schall, der von Transformatortanks abstrahlt, ist seit Jahrzehnten von vielen Leuten versucht worden. Siehe beispielsweise US-A-2776020 oder später O.L. Angevine, "Active Cancellation of the Hum of Large Electric Transformers", Proceedings of Inter-Noise, 20.-22. Juli 1992. Diese Versuche nach dem Stand der Technik sind dazu fähig gewesen, bei einer Strahlung vom Transformator Schallpegel für nur einen schmalen Winkel zu erniedrigen. Ein Grund für ihre Unfähigkeit, eine globale Schallreduktion zu erhalten, kommt von ihrer Unfähigkeit, die Schallquelle "eng zu koppeln". "Enges Koppeln" hat die Bedeutung, daß die Anti-Schallquellen sehr gut an die Stelle, die Verteilung und die Pegel der Schallquellen angepaßt sind. Eine Art zum Verbessern der Quellenkopplung besteht im Verwenden akustischer Quellen

niedrigen Profils; beispielsweise dünne Platten, die durch Piezos getrieben werden. In diesem Fall werden dünne großflächige piezokeramische Teilstücke, die im d31-Mode arbeiten (d.h. Piezokeramiken legen eine Momentbelastung an die Platte an), direkt an der Oberfläche angebracht. Wenn diese Quellen mit niedrigem Profil nahe der Struktur angebracht sind und die Schallquelle in ihrer Verteilung nicht übermäßig komplex ist, dann sind große globale Reduktionen erreichbar. Jedoch kann ein Entwerfen und Aufbauen vieler linearer Quellen hohen Pegels und niedriger Frequenz für komplizierte Schallquellen unerschwinglich teuer sein.

Ein bevorzugtes Verfahren zum Lösen des Kopplungsproblems besteht darin, piezokeramische Teilstücke direkt auf der Oberfläche der Platte oder des Gehäuses anzuordnen. Ein Teilstück wird bei der Spitze jeder halben Wellenlänge für diejenigen akustisch strahlenden strukturellen Moden angeordnet, die Resonanzfrequenzen nahe der Erregerfrequenz (den Erregerfrequenzen) haben. Dies stellt eine optimale Kopplung sicher, soweit es eine Anordnung und eine Verteilung der Aktuatoren betrifft. Jedoch ist ein Erhalten eines adäquaten Ausgangspegels des Aktuators schwieriger. Dies erfordert ein Optimieren des Piezo-Aktuator-Entwurfs und ein Durchführen einer Impedanzanpassung zwischen dem Aktuator und der Platte oder dem Gehäuse.

Ein Durchführen einer Impedanzanpassung zwischen dem Piezo-Aktuator und der Platte oder dem Gehäuse kann schwierig sein. Eine frühere Untersuchung hat die optimale Piezo-Dicke für den Fall einer statischen Deformation hervorgebracht. Beispielsweise zeigten S.J. Kim und J.D. Jones (1990) unter Verwendung einfacher statischer Modelle, daß die Piezo-Dicke für eine maximale Aktuatorausgabe für Stahlplatten etwa die Hälfte der Dicke der Stahlplatte ist, an welcher er angebracht ist. Dies ist in "Optimal Design of Piezo-actuators for Active Noise and Vibration Control", AIAA 13th Aeroacoustics Conference, Okt. 1990 beschrieben. Ein Erhöhen der Piezo-Dicke über die optimale Dicke hinaus, erniedrigt in der Tat die effektive Aktuator-Ausgabe. Eine gegenwärtige Untersuchung richtet sich auf die optimale Piezo-Dicke für den dynamischen Fall, wie beispielsweise C. Liang, S. Fanping und C. Rogers, "Dynamic Output Characteristics of Piezoelectric Actuators", Proceedings of Smart Structures and Materials, Feb. 1993. Da das meiste dieser Untersuchung auf Weltraumanwendungen ausgerichtet ist, sind die Platten dünn und leichtgewichtig mit einer niedrigen Dämpfung gewesen. In diesem Fall ist eine Impedanzanpassung einfach, da die Piezokeramiken typischerweise dünn sind

(z.B. 0,254 mm (0,010 Inch) dick oder weniger). Ein Audio-Verstärker kann mit einem Audio-Abwärtstransformator verwendet werden, der "rückwärts" läuft (d.h. mit der sekundären Seite mit dem Verstärker verdrahtet). Unter Verwendung dieses Ansatzes sind Spitzenspannungen von nur etwa 200 Volt erforderlich. Leistungsanforderungen können durch Hinzufügen einer Spule in Reihe oder parallel zu dem Piezo oder durch Verwenden anderer Komponenten weiter reduziert werden, so daß die Schaltung in Resonanz betrieben wird. Diese Piezo-Dicke (0,254 mm (0,010 Inch) dick oder weniger) kann mit einer guten mechanischen Impedanzanpassung (gemäß statischen Impedanzanpassungsverfahren) an Aluminium-Platten bis zu einer maximalen Dicke von etwa 0,635 mm (0,025 Inch) angebracht werden, oder an Stahl-Platten bis zu einer maximalen Dicke von etwa 0,508 mm (0,020 Inch). Jedoch gibt es viele industrielle Anwendungen mit dicken, steifen Platten oder Gehäusen, wo der obige Ansatz nicht funktionieren wird. Beispielsweise sind Transformatorentanks typischerweise 9,53 mm (0,375 Inch) dick. Dies ist 18 mal dicker als der obige Ansatz "zulassen" würde.

Somit ist der obige Ansatz für eine elektromechanische Impedanzanpassung von wenig Nutzen für piezobetriebene Platten für industrielle Anwendungen. Beispielsweise werden, wie es oben angegeben ist, Transformatorentanks typischerweise mit einer 9,53 mm (0,375 Inch) dicken Stahlplatte hergestellt. Dies würde eine optimale Piezo-Dicke von etwa 4,83 mm (0,190 Inch) implizieren. Die Piezos können kontinuierlich für alle 0,0254 mm (0,001 Inch) der Dicke mit bis zu 10 Volt Spitze kontinuierlich betrieben werden. Dies würde eine Treiberspannung von 1890 Volt in der Spitze implizieren. Verstärker für solche Vorrichtungen kosten etwa 2000 \$ pro Kanal für große Quantitäten von Verstärkerkanälen. Eine aktive Steuerung des Transformatortanks kann bis zu 100 Aktuatoren erfordern, und zwar insbesondere für große Transformatoren mit Harmonischen hoher Ordnung in bezug auf ihre Rauschsignatur. Dies impliziert Verstärkerkosten von mehreren hunderttausend Dollar. Dies ist der Preis einer passiven Lösung für ein Transformatorrauschen. Einbauen eines Betonbunkers um den Transformator, der in Kanada und Europa verwendet worden ist. Somit ist trotz der Vorteile einer engen Kopplung (Stelle und Verteilung) aufgrund von Beschränkungen in bezug auf den Aktuatorpegel und von hohen Verstärkerkosten ein Anwenden dicker Piezos direkt auf den Tank keine praktische Lösung bei existierender Technologie.

Der Einsatz gestapelter Piezo-Vorrichtungen ist nicht neu. Seit den 1940er hat die US Navy dicke Piezokeramiken mit kleinen Querschnittsflächen zusammengeklebt (die im longitudinalen oder d33-Mode betrieben wurden), um den longitudinalen Spitzenversatz des Aktuators zu erhöhen. Diese werden typischerweise "piezokeramische Stapel" genannt. Der Versatz der gesamten Stapelanordnung ist gleich der Summe der einzelnen Piezos. Firmen haben Verfahren zum integrierten Brennen von mehreren dünnen Schichten von sowohl den Keramiken als auch den Leitern entwickelt. Dies hat die Kosten des Stapels gesenkt, während Spannungsanforderungen durch Zulassen von dünnen Schichten gesenkt wurden.

Es ist zu beachten, daß diese Piezo-Stapel typischerweise nicht für ein aktives Gehäuse verwendet werden können, weil sie etwas steifes zum Drücken dagegen benötigen. Das "etwas steife zum Drücken dagegen" ist eine Erdung, die für tatsächliche Anwendungen selten verfügbar ist. Es gibt zwei Ausnahmen. Eine ist die Verwendung von Trägheits-Schüttelvorrichtungen, die gegen eine Masse stoßen. Jedoch kann es sein, daß für eine Trägheitsvorrichtung nicht genügend Platz ist, und zwar insbesondere für eine Niederfrequenz-Auslöschung, die eine große Masse erfordert. Die zweite Ausnahme besteht darin, daß dann, wenn die strukturellen Moden in gegenüberliegenden Seiten der aktiven Gehäuse sich gleichphasig bewegen (d.h. eine Seite bewegt sich weg vom Zentrum, während sich die gegenüberliegende Seite auch weg vom Zentrum bewegt). Ein Verbinden gegenüberliegender Seiten eines Gehäuses zusammen mit Vorrichtungen, die piezokeramische Stapel enthalten, kann dann zum Stoppen einer Bewegung der Seiten des Gehäuses verwendet werden. Jedoch wird ein Aneinanderbringen gegenüberliegender Seiten eines Gehäuses bei vielen Anwendungen nicht funktionieren.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine aktive Schwingungs-Steuervorrichtung mit einem piezoelektrischen Aktuator-Teilstück geschaffen, das konfiguriert ist, um in einem Biegemode zu arbeiten, und das an einer dicken, festen Platte angebracht ist, die eine Fläche aufweist, die relativ zu derjenigen des Teilstücks groß ist, zum Auslöschen von Schwingungen darin, wobei das Aktuator-Teilstück einen Stapel von planaren piezoelektrischen Aktuatoren aufweist, wobei jeder Aktuator relativ zur Platte dünn ist.

Vorzugsweise haben benachbarte Aktuatoren eine gemeinsame elektrische Verbindungsschicht, die zwischen ihnen angeordnet ist. Dies eliminiert die

Notwendigkeit zum Einfügen elektrischer Isolatoren zwischen den Schichten, was eine Aktuator-Ausgabe erniedrigt und Kosten erhöht.

Vorzugsweise weist das Teilstück zwei gestapelte planare piezoelektrische Aktuatoren auf.

Vorzugsweise ist die Dicke des Teilstücks größer als etwa ein Fünftel der Dicke der Platte.

Vorzugsweise ist der Bereich des Teilstücks nicht größer als etwa ein Zehntel des Bereichs der Platte.

Vorzugsweise ist eine Schwingungssensoreinrichtung, wie beispielsweise ein Beschleunigungsmesser, mit dem Teilstück integriert.

Vorzugsweise ist die Platte eine Wand eines Gehäuses.

Vorzugsweise ist dann, wenn die Platte Aluminium ist, die Dicke des Teilstücks etwa die Hälfte der Platte.

Vorzugsweise enthält die Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung eine weitere piezoelektrische Aktuatoreinrichtung, die einen Stapel planarer piezoelektrischer Aktuatoren aufweist, die konfiguriert sind, um in einem Biegemode zu arbeiten.

Nun werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand eines Beispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Test-Platte mit einem Piezo-Teilstück ist,

Fig. 2 eine explosionsmäßige Querschnittsansicht eines zweischichtigen piezokeramischen Teilstücks ist, die eine keramische Polarität mit dem zugehörigen Verdrahtungsdiagramm zeigt,

Fig. 3 eine Seitenansicht eines zusammengebauten Querschnitts des zweischichtigen piezokeramischen Teilstücks der Fig. 2 ist, und

Fig. 4 eine Querschnittsansicht eines teilweise zusammengebauten mehrschichtigen piezokeramischen Teilstücks ist.

Für die meisten aktiven Platten oder Gehäuse ist es vorzuziehen, Piezo-Teilstücke zu verwenden (d.h. Multimorphs bzw. mehrere Teile im Biegemode). Die Piezo-Teilstücke werden durch elektronische Steuerungen gesteuert, die arbeiten, wie es in US-A-4878188, US-A-5105377 und/oder US-A-5091953 beschrieben ist.

Es wurde ein Test durchgeführt, um die Nützlichkeit der geschichteten Piezo-Teilstücke zu demonstrieren, und die Konfiguration ist in Fig. 1 gezeigt. Die Testvorrichtung war eine Aluminiumplatte 10 mit einer Dicke von 3,18 mm (1/8 Inch) mal einem Quadrat von 254 mm (10 Inch) mit an den Rändern rechtwinklig angeschweißtem Aluminium mit einer Größe von 3,18 mm (1/8) mal 19,1 mm (3/4 Inch). Die Platte wurde auf einfache Weise gestützt bzw. gelagert. Am Anfang wurde ein einzelnes piezokeramisches Teilstück 11 mit einer Dicke von 0,508 mm (0,020 Inch) an die Platte angebracht (siehe Fig. 1).

Dann wurde ein Modentest durchgeführt, um die Resonanzfrequenz für den (1,1)-Mode für die Platte mit dem einzelnen Piezo-Teilstück zu bestimmen. Es wurde bestimmt, daß der (1,1)-Mode für die Platte 274 Hz war. Ein Signal bei 274 Hz mit 20,0 Volt in der Spitze wurde dann an den Piezo angelegt. Dies resultierte in einer Beschleunigung von 143 m/s^2 , wie es durch einen in der Mitte der Platte montierten Beschleunigungsmesser mit 1,3 Gramm gemessen wurde.

Eine zweite Piezokeramik 12 mit derselben Größe wie derjenigen der ersten wurde dann oben auf der ersten angebracht und, wie es in Fig. 2 gezeigt ist, mit einem Verstärker 13 verdrahtet. Diese zusammengebaute Ansicht ist in Fig. 3 gezeigt. Dies ist im wesentlichen ein an die Platte 10 angebrachter Bimorph bzw. ein zweiteiliger Aufbau. Dann wurde ein Modentest wiederholt, um die Resonanzfrequenz für den (1,1)-Mode für die Platte mit zwei Teilstücken zu bestimmen. Es wurde bestimmt, daß der (1,1)-Mode für die Platte mit zwei Teilstücken 270 Hz war. Ein Signal mit 270 Hz und einer Spitze von 20,0 Volt wurde dann an den Piezo angelegt. Dies resultierte in einer Beschleunigung von 303 m/s^2 , wie es durch einen beim Zentrum der Platte montierten Beschleunigungsmesser mit 1,3 Gramm gemessen wurde. Es wurde eine erhöhte Aktuatorausgabe erwartet, da die effektive Piezo-Dicke von etwa 85 % der

optimalen Dicke erhöht wurde. Es ist zu beachten, daß wir fähig waren, die Ausgabe des Piezo-Aktuators zu verdoppeln, ohne die Spannung vom Verstärker zu erhöhen. Eine Piezo-Dicke, die größer als die optimale Dicke ist, resultiert im Absenken des effektiven Moments von der Keramik. Eine Verwendung einer geradzahligen Anzahl von Schichten ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel, da sie zuläßt, daß die äußersten Leitungsschichten geerdet werden, was sicherer ist. Eine dünne Kupferfolie 14 ist zwischen den Piezos 11 und 12, die aneinander und an der Platte 10 durch Klebeschichten 15, 16 befestigt sind.

Dieselbe Beschleunigung (303 m/s^2) könnte mit einem Einzelschichten-Piezo-Teilstück mit einer Dicke von 1,02 mm (0,040 Inch) erreicht worden sein, das mit einem Signal von 40 Volt in der Spitze betrieben wird. Diese Spannungsdifferenz ist nicht signifikant. Jedoch soll nun angenommen werden, daß die Platte 9,53 mm (0,375 Inch) dicker Stahl wäre, und die gewünschte effektive Piezo-Dicke 5,08 mm (0,200 Inch) mit einer alle 0,254 mm (0,001 Inch) der Piezo-Dicke angelegten Spitze von 10 Volt wäre. Dann würden die Verstärkerspannungsanforderungen von 2000 Volt in der Spitze auf 200 Volt in der Spitze erniedrigt werden, wenn 10 Schichten von Keramik (jeweils 0,058 mm (0,020 Inch) dick) verwendet würden. Dies senkt Verstärkerkosten von etwa 2000 \$ pro Kanal auf etwa 50 \$ pro Kanal. Anfangs werden die Kosten für den Piezo-Aktuator um eine Größenordnung bis zu etwa 400 \$ pro Aktuator erhöht werden, aber dies ist wesentlich weniger als die Verstärkerkosten. Zusätzlich wird geglaubt, daß der Preis von Mehrschichten-Teilstücken drastisch reduziert werden kann, wenn die Leiter und die Keramik zusammengedrückt werden und eher als jede Schicht einzeln als einzige Einheit gebrannt werden (wie es nun für Piezo-Stapel durchgeführt wird). Sensoren, wie beispielsweise Beschleunigungsmesser, können dann zum zusätzlichen Sparen von Kosten in die Herstellung des Mehrschichten-Teilstücks integriert werden.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Mehrschichten-Piezo-Teilstücks ist in Fig. 4 gezeigt, wobei Piezo-Schichten 21, 22 und 23 an einer Platte 20 befestigt sind. Es ist zu beachten, daß die Anzahl von Schichten geradzahlig sein sollte. Ein integrierter Sensor 24 ist oben auf der äußeren Schicht 21 und dünne Leitungen 25, 26 und 27 sind jeweils zwischen den Schichten 21-23.

Diese Mehrschichten-Piezo-Teilstücke könnten verwendet werden, wo immer Einzelschichten-Piezo-Teilstücke gegenwärtig eingesetzt werden. Dies enthält eine

oder beide Seiten von Platten oder Gehäusen und sogar auf gekrümmten Platten (durch "Vorkrümmen" des Aktuators).

Klebeschichten 28, 29 und 30 befestigen die Schichten aneinander und an die Platte 20. Der Einsatz von Mehrschichten- oder "multimorphen" Piezokeramiken im Biegemode ist nicht neu. Viele Patente existieren für eine Verwendung solcher Vorrichtungen als elektrische Schalter (d.h. Relais) oder als die Treibereinheit für Pumpen. Jedoch sind diese Schwingungsanwendungen/Akustikanwendungen. Es gibt Fälle, wo Biegemode-Piezos für Schwingungs/Akustik-Zwecke eingesetzt worden sind. Beispielsweise existieren mehrere Patente für den Einsatz von Einzel- oder Mehrschichtenkeramiken als Aktuator für Lautsprecher vom Konustyp. Jedoch ist die Hauptvorrichtung für Platten oder Gehäuse, wo Vorrichtungen vom Lautsprechertyp nicht wünschenswert sind.

US-A-4352961 offenbart eine Verwendung eines transparenten Zweischichten-Piezos (z.B. eines Biege-Bimorphs) zum Anregen eines flachen transparenten Platten-Lautsprechers. Jedoch stellt die Zeichnung darin eine Piezo-Dicke dar, die größer als die Dicke der Platte ist, der betrieben wird. Zusätzlich stellt die Zeichnung dar, daß der Bereich des Piezos nahezu so groß wie die Platte ist, der betrieben wird. Somit ist die Platte, die betrieben wird, auf gleiche Weise wie die Weltraumanwendung, die oben diskutiert ist, relativ zum Piezo-Aktuator ganz flexibel. Ihre Vorrichtung ist nicht für einen Einsatz an dicken, steifen Platten oder Gehäusen geeignet. Weiterhin betrifft US-A-4352961 nur den Einsatz von piezoelektrischen "Bimorphs" (d.h. eines Zweischichten-Teilstücks). Sie diskutiert nicht die Notwendigkeit eines Verwendens vieler Schichten (so viele wie 10 oder sogar 100) bei dicken, steifen Platten zum Erniedrigen von Spannungsanforderungen. Tatsächlich offenbart US-A-4352961 den Einsatz eines Transformators eher zum Erhöhen der Batterieausgabe auf die Spannung, die für den Bimorph erforderlich ist (3 Volt in der Spitze), als zum Absenken der Spannungsanforderung durch Verwenden eines Mehrschichten-Teilstücks.

Die Nützlichkeit der Hauptvorrichtung ist im folgenden Test dargestellt. Drei Mehrschichten-Biege-Piezos wurden an das enge Südende eines Leistungstransformatortanks angebracht. Die Tankabmessungen waren etwa 2,44 m (8 ft.) breit mal 1,22 m (4 ft.) tief mal 3,05 m (10 ft.) lang. Der Tank wurde aus Stahl von 9,53 mm (3/8 Inch) hergestellt. Dann wurden die Piezos mit einer adaptiven Steuerung verbunden. Zuerst wurde ein Beschleunigungsmesser

(wurden Beschleunigungsmesser) am Tank für eine Verwendung als Fehlersensor(en) angeordnet. Die Steuerung war fähig, die Schwingung der Platte zu dem Schallboden des Beschleunigungsmessersignals mit Reduktionen von 30 bis 40 dB zu betreiben.

Als nächstes wurden die Beschleunigungsmesser durch Mikrophone etwa einen Meter von der Oberfläche der Piezos entfernt ersetzt. Die Steuerung war fähig, den durch die Mikrophone gemessenen Klangdruck zu dem Schallboden des Mikrophonsignals mit einer Reduktion von 30 bis 40 dB zu treiben. Zusätzlich wurde auch das Signal von Überwachungsmikrophonen im Fernfeld (d.h. 30 Meter vom Südenende des Transformators) um 10 dB abgesenkt. Ein Klangdruck im Fernfeld am Nördende des Transformators wurde auch erniedrigt, und ein Klangdruck im Fernfeld für die Ost- und Westseiten erhöhte sich nicht. Beschleunigungsmesser-Messungen wurden dann um den Umfang des Transformatortanks auf der Ebene der Piezos mit einer Aus- und Einsteuerung vorgenommen. Diese Messung zeigte, daß sich Schwingungspegel auf der Südseite des Tanks tatsächlich erhöhten. Schwingungspegel auf der Ostseite erhöhten sich auch um etwa 6 dB. Die Ostseiten-Schwingung wurde auf denselben Pegel wie die Westseiten-Schwingung erhöht, so daß sich ein Rauschen von den zwei Seiten im Fernfeld der Südseite auslöschte.

Diese Testfälle stellen dar, daß die Mehrschichten-Piezos effektiv für eine Schwingungssteuerung sowie für eine akustische Steuerung verwendet werden können. Sie stellen auch dar, wie sich Schwingungspegel tatsächlich für eine akustische Steuerung mit diesen Vorrichtungen erhöhen können.

Somit ist diese Vorrichtung der Erfindung einzigartig darin, daß sie eine Steuerung einer strukturellen Akustik von dicken, steifen Platten oder Gehäusen mit niedrigen Kosten durch Absenken von Spannungsanforderungen zuläßt. Während mehrere bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt und beschrieben worden sind, wird es Fachleuten auf dem Gebiet klar werden, daß viele Änderungen und Modifikationen durchgeführt werden können.

94 914 908.2-2208

Patentansprüche

1. Aktive Schwingungs-Steuervorrichtung mit einem piezoelektrischen Aktuator-Teilstück (11), das konfiguriert ist, um in einem Biegemode zu arbeiten, und das an einer dicken, festen Platte (10) angebracht ist, die eine Fläche aufweist, die relativ zu derjenigen des Teilstücks (11) groß ist, zum Auslöschen von Schwingungen darin, wobei das Aktuator-Teilstück (11) einen Stapel von planaren piezoelektrischen Aktuatoren (11, 12; 21, 22, 23) aufweist, wobei jeder Aktuator relativ zur Platte dünn ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei benachbarte Aktuatoren (11, 12; 21, 22, 23) eine gemeinsame elektrische Verbindungsschicht (15; 28, 29) aufweisen, die zwischen ihnen angeordnet ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Teilstück zwei gestapelte planare piezoelektrische Aktuatoren (11, 12) aufweist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Dicke des Teilstücks größer als etwa ein Fünftel der Dicke der Platte ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Fläche des Teilstücks nicht größer als etwa ein Zehntel der Fläche der Platte ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine Schwingungssensoreinrichtung (24) mit dem Teilstück integriert ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Platte eine Wand eines Gehäuses ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Sensoreinrichtung einen Beschleunigungsmesser aufweist.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Platte Aluminium ist und die Dicke des Teilstücks etwa die Hälfte von derjenigen der Platte ist.
10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, die ein weiteres piezoelektrisches Aktuator-Teilstück enthält, das einen Stapel von planaren piezoelektrischen Aktuatoren aufweist, die derart konfiguriert sind, daß sie in einem Biegemode arbeiten, und die an der Platte angebracht sind.

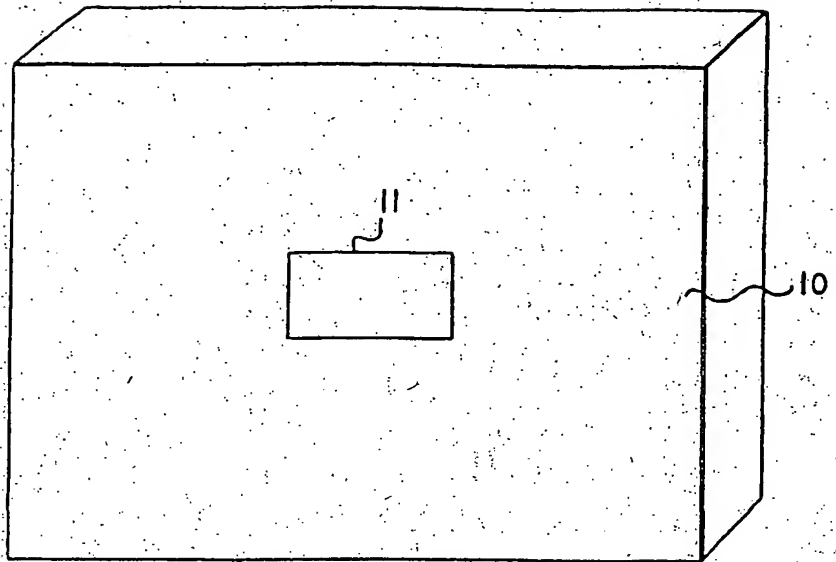


FIG. 1

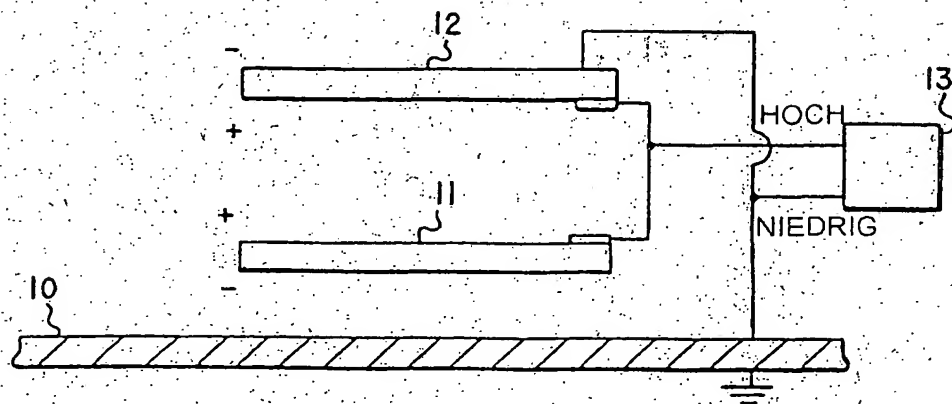


FIG. 2

2 / 2

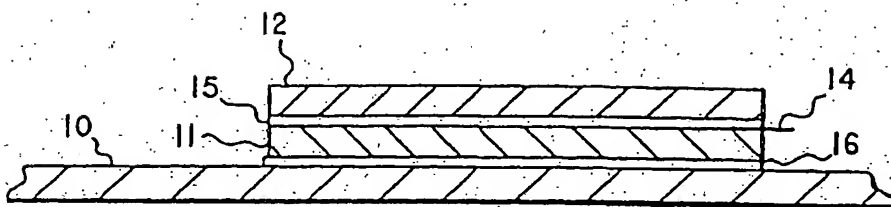


FIG.3

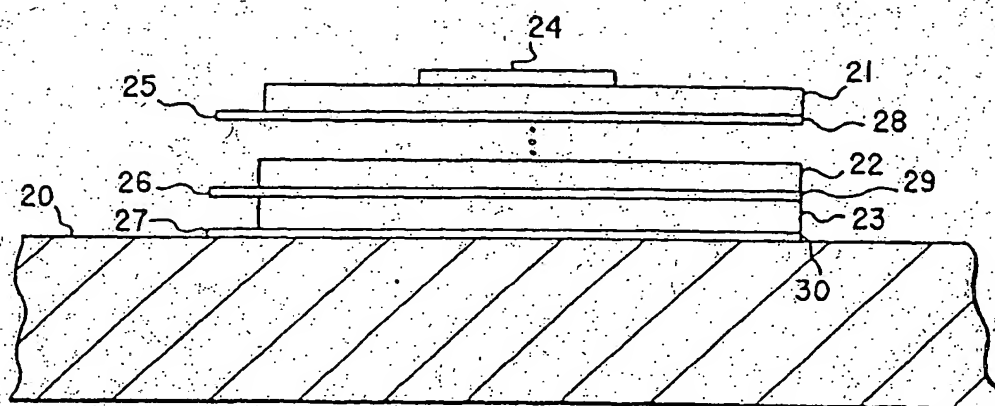


FIG.4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.